

# 吸収マルコフ連鎖を用いたOD交通量推計の誤差に関する研究

## A Study on the Error of OD Matrix Estimation with Absorbed Markov Chain\*

鈴木哲矢\*\*・高山純一\*\*\*・中山晶一郎\*\*\*\*・赤松隆\*\*\*\*\*

By Tetsuya SUZUMURA\*\*・Jun-ichi TAKAYAMA\*\*\*

Syoichirou NAKAYAMA\*\*\*\*・Takashi AKAMATSU\*\*\*\*\*

### 1. はじめに

ある地域で交通計画を策定するためには、対象とする地域内での現状 OD 交通量を詳細に把握することが必要である。しかし、従来のパーソントリップ調査を基本としたマクロな OD 推計モデルでは、都市圏全体を対象とする場合に詳細な地域にまで調査が行き届かず、推計精度上限界のある場合が多い。また、ビデオ撮影によるナンバーマッチング法では、調査費用とマッチングの労力が大きく、ある程度広範囲になると、マッチングミスによる精度への影響も大きい。このような場合には、実測道路区間交通量から対象地域内の OD 交通量を推計する方法が有効であり、いくつかの方法<sup>3)</sup>が提案されている。しかし、これらの方法においても、経路選択率が既知データとして必要であったり、既存の OD 交通量が必要であったりするなど、実測の交通量のみから OD 推計を行うモデルは少ない。また実測の交通量のみからの OD 推計でも、多くがマクロ的な都市圏全体を対象としたモデルとなっており、ミクロ的な、地域の限定された推計モデルは少ない。実測道路区間交通量から OD を推計する手法に、マルコフ連鎖配分を用いて OD 推計を行うものがある。これは、各交差点における右左折直進比率をインプットデータとしてこのような自動車の流れを一つの吸収マルコフ連鎖として考えて、OD 交通を推計するものである。このマルコフ連鎖配分を用いた OD 推計法を用いれば、それほど調査費用をかけずに、しかも時間的に手軽に OD 交通量が求められるというメリットがある。

\*キーワード：吸収マルコフ連鎖、OD 推計、道路区間交通量、サイクル経路

\*\* 学生員 金沢大学大学院 博士前期課程

\*\*\* フェロー 工博 金沢大学大学院自然科学研究科

\*\*\*\* 正会員 博(工) 金沢大学大学院自然科学研究科  
(〒920-1192 石川県金沢市角間町)

TEL 076-234-4613 FAX 076-234-4644

\*\*\*\*\* 正会員 工博 東北大学大学院情報科学研究科

以上のことを踏まえ、本研究ではマルコフ連鎖配分を用いた OD 交通量推計手法である「マルコフ OD 推計法」の実用的な利用に向けて、その推計精度の評価・検討を行う。

本研究で用いている既存の GA マルコフ OD 推計法で生じている誤差の原因として考えられるものは、GA および吸収マルコフ連鎖である。よって、これらからそれぞれどの程度の誤差が生じ、OD 交通量の推計精度に影響しているのかを検定する。また、得られた検定結果をもとに、今後どのような方法でモデルの精度を向上させるよう改善を行うかを提案する。

### 2. 研究の方法

#### (1) GA マルコフ OD 交通量推計法について

既存の GA マルコフ OD 推計法<sup>1)</sup>では、対象地域は井型モデルにモデル化し、対象地域の外部ノードからの発生交通量は、対象地域外から対象地域内への道路区間交通量と等しいとし、内部ノードからの発生交通量を GA により求める。また、この推計法で前提条件、つまり既知として用いるインプットデータは観測道路区間交通量・交差点右左折直進交通量であり、経路選択は交差点右左折直進交通量を用いて遷移確率行列  $P$ (式(2.1))を作成し、吸収マルコフ連鎖を用いて決定する。推計手順の概略は以下の通りである。

STEP1：まず、未知である内部ノードからの発生交通量  $V$  を GA により発生させる。(前述の通り、外部ノードからの発生交通量は対象地域境界線上で観測される観測道路区間交通量を既知データとして用いる)

STEP2：GA により算出された発生交通量と交差点分岐確率などから推定される遷移確率  $P$ (式(2.1))を用いて式(2.3)へと代入し、道路区間交通量  $EX$  を推定する。

$$\begin{array}{c}
 \text{吸収源} \quad \text{発生源} \quad \text{過渡状態} \\
 1 \dots r \quad r+1 \dots r+r \quad 2r+1 \dots 2r+s \\
 \left. \begin{array}{c}
 1 \\
 \vdots \\
 r \\
 r+1 \\
 \vdots \\
 r+r \\
 2r+1 \\
 \vdots \\
 2r+s
 \end{array} \right\} \begin{array}{c}
 \text{吸収源} \\
 \text{発生源} \\
 \text{過渡状態}
 \end{array} \\
 P = \left( \begin{array}{c|c}
 I & O \\
 \hline
 R & Q
 \end{array} \right)
 \end{array}$$

(2.1)

$$\begin{array}{c}
 \text{発生源} \quad \text{過渡状態} \\
 1 \dots r \quad r+1 \dots r+s \\
 \left. \begin{array}{c}
 1 \\
 \vdots \\
 r \\
 Q = r+1 \\
 \vdots \\
 r+s
 \end{array} \right\} \begin{array}{c}
 \text{発生源} \\
 \text{過渡状態}
 \end{array} \\
 Q = \left( \begin{array}{c|c}
 0 & Q_1 \\
 \hline
 0 & Q_2
 \end{array} \right)
 \end{array}$$

(2.2)

$$EX = V \cdot Q_1 (I - Q_2)^{-1} \quad (2.3)$$

STEP3: 推定された道路区間交通量と観測値との残差平方和と、その逆数である適応度(評価関数)を計算する。

$$W = \sum (RX_a - EX_a)^2 \quad (2.4)$$

$$f = 1/W \quad (2.5)$$

ここで、 $EX_a$ : リンク  $a$  の推定道路区間交通量

$RX_a$ : リンク  $a$  の実測区間交通量

$W$ : 残差平方和

$f$ : 評価関数

STEP4: STEP3 で計算した評価関数  $f$  が最大値を、つまり道路区間交通量に関する残差平方和  $W$  が最小値を取るまで GA の各操作を行い、STEP1 から STEP4 を繰り返す。

STEP5: STEP1 から STEP4 を繰り返し計算し、 $W$  が収束した、もしくは GA が最大世代数に到達した場合には、そのときの発生交通量を用いて OD 交通量( $U$ )を式(2.4)により算出する。

$$U = V(I - Q)^{-1} R \quad (2.6)$$

GA マルコフモデルによって推計した値の良否を判別するために、実際の交通データを用いて比較・検討を行う。用いるデータとしては、Validation (実データによるモデルの検証) 用データである東京都・吉祥寺エリア (総リンク数 110, 外部ノード数 12, 交差点数 17, 内部ノード数 22) の平成 8 年度 10 月 30 日 AM7:50 ~ AM10:00 における各リンク交通量・各車両通過時刻・実 OD データを用いている。詳しいネットワーク図を以下の図 2-1 に示す。また、GA マルコフ OD 推計法の計算フロー図を図 2-2 に示す。

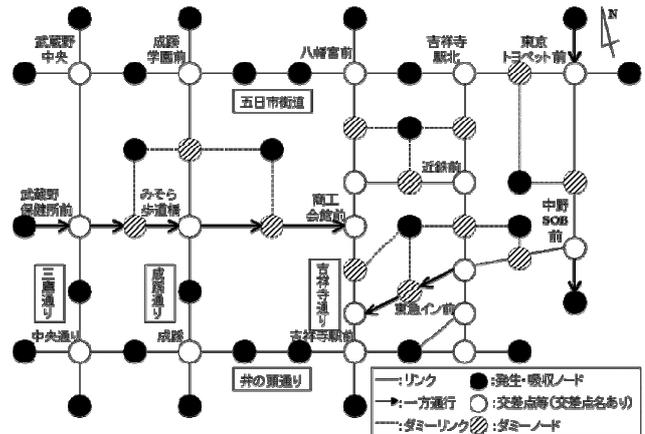


図 2-1 東京都吉祥寺・三鷹エリアネットワーク図

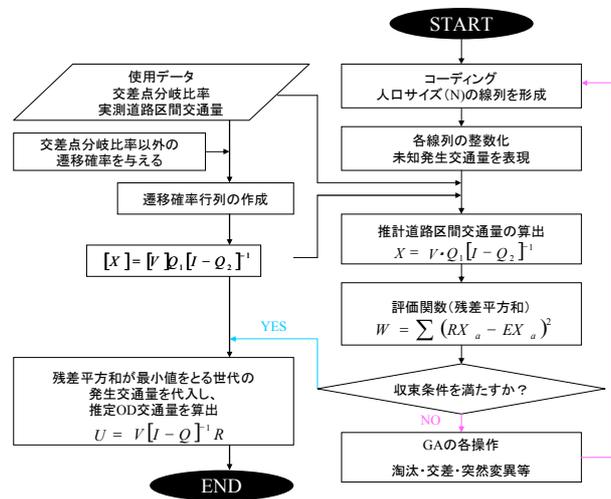


図 2-2 GA マルコフ OD 推計法の計算フロー図

## (2) GA マルコフ OD 推計法による推計結果

既存の GA マルコフ OD 推計法を用いて、OD 交通量を推計した道路区間交通量および OD 交通量の結果はそれぞれ図 2-3, 2-4 のようになった。相関係数はそれぞれ道路区間交通量では 0.927, OD 交通量では 0.640 となった。さらに、外部ノード→外部ノード、外部ノ

ード→内部ノード，内部ノード→外部ノード，内部ノード→内部ノードごとの相関係数を算出した結果，それぞれ0.755, 0.454, 0.701, 0.273となっていた。

これらの結果を見ると，道路区間交通量については実測値と推計値の整合性が取れているが，OD交通量についてはあまり取れておらず，OD推計に用いるには不十分なモデルであると考えられる。

この原因としては，内部ノードからの発生交通量を既知データとしてではなく，実測道路区間交通量をもとにGAにより推計して与えているため，誤差が生じてしまっていることなどが挙げられる。また，内部ノード間のOD交通量の精度が低いのは，内部ノードからの発生交通量が外部からの通過交通量に比較して小さいため，残差平方和を最小化するとき内部ノードに誤差が集積したことが原因として考えられる。

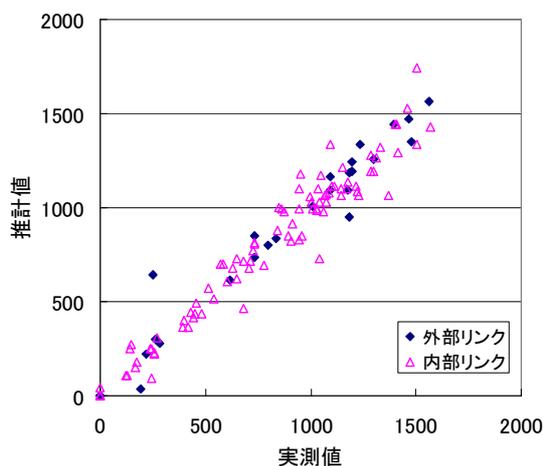


図 2-3 道路区間交通量の実測値と推計値の比較

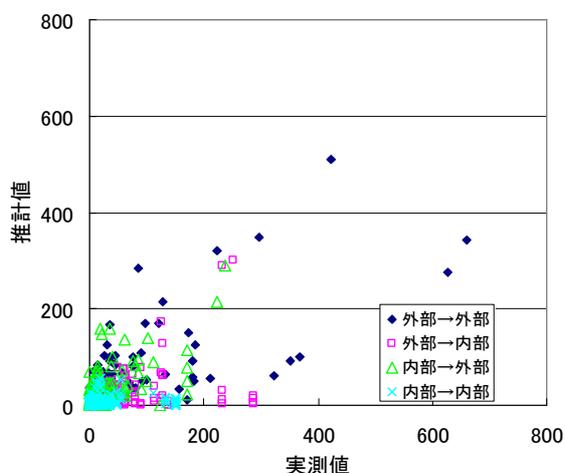


図 2-4 OD交通量の実測値と推計値の比較

### 3. 吸収マルコフ連鎖の検証

#### (1) 吸収マルコフ連鎖およびGAの誤差の検定

2章のGAマルコフOD推計法によるOD交通量の推計結果には，吸収マルコフ連鎖により発生する誤差（経路選択，すなわちサイクル経路の選択による誤差）とGAによる発生交通量推計による誤差が含まれていると考えられる。

そこで，吸収マルコフ連鎖およびGAによる誤差が各々どの程度OD交通量の推計精度に影響しているのかを検討する。

吸収マルコフ連鎖によりOD交通量を推計する際に，既存のモデルではGAにより求めていた内部ノードからの発生交通量を外部ノードと同じように実測値によって与えて，推計されたOD交通量と実測のOD交通量とを比較すれば吸収マルコフ連鎖から発生する誤差のみを把握することができる。

具体的な手順としては，まず吉祥寺・三鷹エリアの実測のOD表から各ノードの発生交通量を求める。その値を各ノードからの発生交通量として，吸収マルコフ連鎖によりOD交通量の推計を行う。そしてOD推計値から各吸収ノードへの吸収交通量を求め，吸収交通量とOD交通量のそれぞれについて推計値と実測値の誤差を比較する。

#### (2) サイクル経路による誤差の検定

吸収マルコフ連鎖を用いた交通量配分では経路を列挙することなく，全経路を配分の対象としている。そのため，経路の中には一度通ったリンクや交差点を再度通過する，いわゆるサイクル経路（図3-1参照）を選択してしまっている可能性がある。そこで，サイクル経路による影響が推計にどの程度影響を与えているのかを検定する。

これらのサイクル経路の影響を検討する手法として，以下の2つのものをあげる。

##### ① 回転角度による補正法<sup>1)</sup>

八木らはサイクル経路を除去する手法として，「右左折回数による回転角度」の概念に着目した。これはある一つの経路の中で右折回数および左折回数の差が3回を越える場合，その経路はサイクル経路であるとみなす。よって，マルコフ連鎖による経路選択がもし以下の(3.1)式の条件を満たす場合，その経路を選択す

るような確率を減ずるように遷移確率行列を更新する。この手法により、更新された遷移確率行列  $P$  を用いて、2章で示された計算手順と同様に OD 交通量推計を行う。これにより、完全にサイクル経路が除去できるわけではないが、大まかには除去できるので、更新する前の遷移確率行列を用いて推計した OD 交通量の推計値との比較を行う。

$$|u - s| \geq 3 \quad (3.1)$$

ここで、 $u$  : 右折回数

$s$  : 左折回数

## ②吸収マルコフ連鎖を逆行列で近似しない手法

吸収マルコフ連鎖において非吸収状態相互間の推移確率は  $Q$  で表される。そして、最初の状態で状態  $i$

にいた車が  $n$  回の遷移を経て状態  $j$  にいる確率は  $Q^n$

の  $(i,j)$  要素として表現される。また、各ノードに到達する車両は、1 回の状態遷移 2 回の状態遷移 ... と様々な状態遷移を経た場合があると考えられる。

そこで、佐佐木の吸収マルコフによる交通量配分理論<sup>2)</sup> では Hawkins-Simon 条件が成立するとして以下の (3.2) 式のような近似を行っている。

$$I + Q^1 + Q^2 + \dots + Q^n + \dots = [I - Q]^{-1} \quad (3.2)$$

このような近似を行うと、(3.2) 式の左辺を見てわかるように、無限回の状態遷移を経たものが考慮されている。無限回遷移を繰り返しているということは、一度通ったところを何度も通過し、永久にどのノードにも吸収されないというような状態を表している。そこで、今回シミュレーションに用いるネットワークから経路を選択する際に最大で行われうる遷移回数を求め、逆行列で近似せずに計算するという方法を用いる。この方法でもサイクル経路を完全に無視できるわけではないが、最大に起こりうる遷移回数をネットワーク図より任意に決定するため、無限に遷移を繰り返すような車両はなくなる。したがって、そのようなサイクル経路がどの程度、推計精度に影響を及ぼしているかを把握することが可能である。

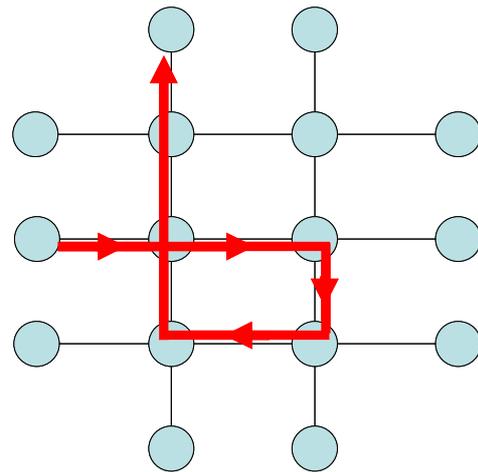


図 3-1 サイクル経路の例

## 4. 今後の方向性

吸収マルコフ連鎖や GA による誤差の影響やサイクル経路の推計精度への影響を把握し、それらをもとに既存の GA マルコフ OD 交通量推計法の改善すべき点を明確にする。また、GA マルコフ OD 交通量推計法では、交差点における右左折直進比率を観測交通量から一律に与えてしまっているため利用者の行動論的根拠が考慮されていない状態であるため、既存のモデルを LOGIT 型に変換し、そこに回転角度の概念を導入し、サイクル経路の除去を行う。

### 参考文献

- 1) 八木基徳・高山純一・中山晶一郎：サイクリック経路を除去した吸収マルコフモデルによる OD 交通量推計に関する研究，土木学会中部支部講演概要集，pp. 429-430, 2004
- 2) 佐佐木綱：吸収マルコフによる交通量配分理論，佐佐木綱先生 退官記念論文集，水の巻，pp. 212-216,
- 3) 井上博司：交通量調査資料を用いた OD 交通量の統計的推計法，土木学会論文集，第 332 号，pp.85-94
- 4) 赤松隆・牧野幸雄：経路を限定しない確率的利用者均衡配分，土木計画学研究・講演集，No.18(2)，pp. 717-720, 1995
- 5) 土木学会：交通ネットワークの均衡分析 —最新の理論と解法—，1999
- 6) Takashi Akamatsu, Stochastic Traffic Assignment Geometric Attributes of Paths, 1996
- 7) Takashi Akamatsu, Cycle Flows, Markov Process and Stochastic Assignment, Transportation Research Part B, 1995
- 8) 交通シミュレーションクリアリングハウス，H8 吉祥寺・三鷹バンチマークデータセット，<http://www.jste.or.jp/sim/>